

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2000-223408
(43)Date of publication of application : 11.08.2000

(51)Int.Cl.

H01L 21/027
G03F 7/20
H01S 3/225
H01S 3/23

(21)Application number : 11-025890

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 03.02.1999

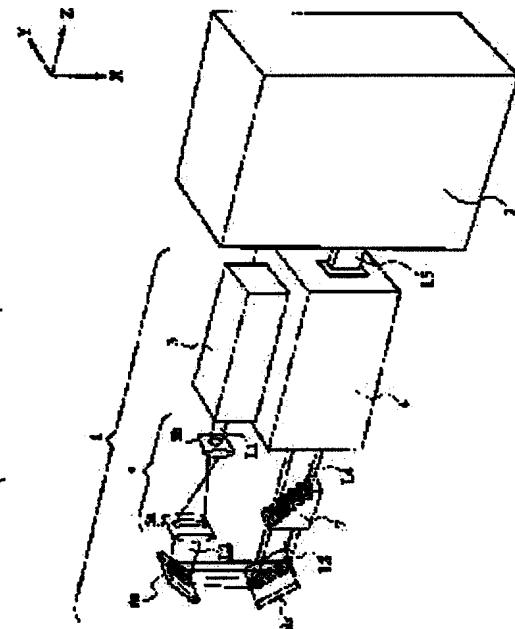
(72)Inventor : TAKEHISA KWAMU

(54) SEMICONDUCTOR MANUFACTURING DEVICE, AND MANUFACTURE OF SEMICONDUCTOR DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To suppress speckle noise in a light source by wavelength conversion, by arranging a translucent member in the light path between a laser beam generation means and an ArF excimer laser, and varying the seed light within the translucent member within its beam face.

SOLUTION: An exposure light source 1 includes a seed light oscillator 3, an ArF excimer laser 4, and an optical system which leads a seed light to the ArF excimer laser 4. A translucent member 7 is stepwise, and the seed light L3 entering this enters the left face of the translucent member 7 vertically. The face where the seed beam L4 comes out in the translucent member 7 is a stepped face, so it comes out of the face on each stair of plural stairs, too. Accordingly, the outgoing seed light L4 is parallel with the seed light L3 without being refracted. But, the distance of the advance within the translucent member 7 varies with the positions within the cross section of the beam, so the phase of the outgoing seed light L4 varies with each stair.



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-223408

(P2000-223408A)

(43)公開日 平成12年8月11日 (2000.8.11)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

テ-マコ-ト⁸ (参考)

H 01 L 21/027

H 01 L 21/30

5 1 5 B 5 F 0 4 6

G 03 F 7/20

G 03 F 7/20

5 2 1 5 F 0 7 1

H 01 S 3/225

H 01 L 21/30

5 1 5 D 5 F 0 7 2

3/23

H 01 S 3/223

E

3/23

Z

審査請求 未請求 請求項の数9 O L (全 13 頁)

(21)出願番号

特願平11-25890

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 武久 究

東京都小平市上木本町五丁目20番1号 株式会社日立製作所半導体事業本部内

(74)代理人 100080001

弁理士 筒井 大和

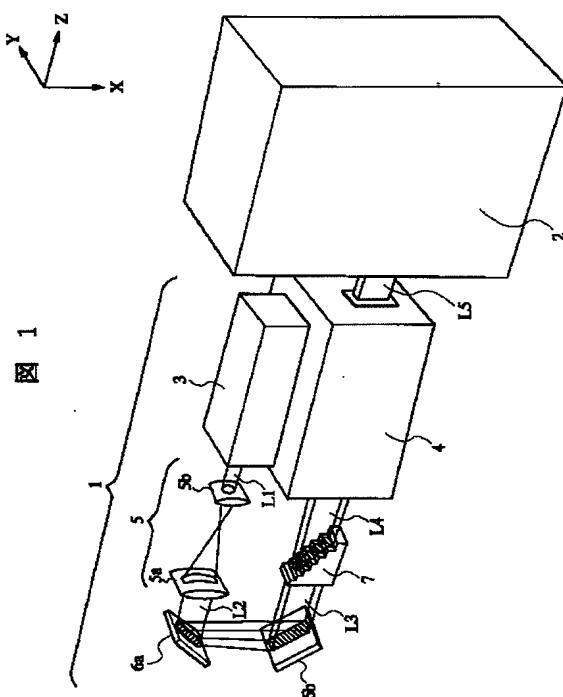
F ターム (参考) 5F046 BA04 BA05 CA04 CA05 CA08
CB01 CB22
5F071 AA06 JJ08 JJ10
5F072 AA06 AB02 AB20 FF09 JJ03
JJ08 JJ20 KK05 KK12 KK30
PP03 RR05 YY09

(54)【発明の名称】 半導体製造装置および半導体装置の製造方法

(57)【要約】

【課題】 低ランニングコストで、スペックルノイズが抑制された露光機を提供する。

【解決手段】 波長 193 nm のシード光 L 1 は、ビーム幅拡大器 5 を通ることで、断面が上下方向に引き延ばされた後、階段状の透過性部材 7 に入射する。透過性部材 7 を出射したレーザ光 L 4 は、ArF エキシマレーザ 4 に注入し、露光機本体 2 に進み、露光に使用される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 波長変換を用いたレーザ光発生手段と、前記レーザ光発生手段で生じた光をシード光とする注入同期型のArFエキシマレーザとを有する半導体製造装置であって、前記レーザ光発生手段と前記ArFエキシマレーザとの間の光路に透光性部材が配置され、前記透光性部材内の前記シード光は、そのビーム面内において通過距離が相違することを特徴とする半導体製造装置。

【請求項2】 波長変換を用いたレーザ光発生手段と、前記レーザ光発生手段で生じた光をシード光とする注入同期型のArFエキシマレーザとを有する半導体製造装置であって、前記レーザ光発生手段と前記ArFエキシマレーザとの間の光路に透光性部材が配置され、

前記シード光の前記透光性部材出射端面における位相が、前記シード光のビーム面内において相違することを特徴とする半導体製造装置。

【請求項3】 請求項1または2記載の半導体製造装置であって、

前記透光性部材は、前記光路方向における寸法が相違する複数の透光性部材片が1次元または2次元に配列されたものであることを特徴とする半導体製造装置。

【請求項4】 請求項1または2記載の半導体製造装置であって、

前記透光性部材は、前記光路方向における寸法が相違する透光性部材片が円周状に配置されたものであり、前記透光性部材が前記円周の中心を軸として回転可能なものであることを特徴とする半導体製造装置。

【請求項5】 波長変換を用いたレーザ光発生手段と、前記レーザ光発生手段で生じた光をシード光とする注入同期型のArFエキシマレーザとを有する半導体製造装置であって、

前記シード光が複数のビームからなることを特徴とする半導体製造装置。

【請求項6】 請求項1～5の何れか一項に記載の半導体製造装置であって、

前記シード光が矩形断面形状を有し、前記ArFエキシマレーザの共振器が複数枚の平面鏡で構成されることを特徴とする半導体製造装置。

【請求項7】 レーザ光発生手段と、前記レーザ光発生手段で生じた光をシード光とする注入同期型のArFエキシマレーザとを有する半導体製造装置であって、前記レーザ光発生手段は、第1および第2のネオジウム添加固体レーザを有し、前記シード光は、前記第1のネオジウム添加固体レーザの0.9μm帯基本波の第4高調波と、前記第2のネオジウム添加固体レーザの1.0μm帯基本波との和周波であることを特徴とする半導体製造装置。

【請求項8】 請求項7記載の半導体製造装置であって、

前記第1のネオジウム添加固体レーザは、Nd:YAGレーザであり、前記第2のネオジウム添加固体レーザは、Nd:YAGレーザ、Nd:GSGGレーザ、Nd:LMAレーザまたはNd:CaWO₄レーザから選択された何れかのレーザであることを特徴とする半導体製造装置。

【請求項9】 0.19μm帯に感度を有するフォトレスト膜を形成する工程と、前記フォトレスト膜を、波長変換を用いて生成したレーザ光をシード光とする注入同期型のArFエキシマレーザ光で露光する工程とを有する半導体装置の製造方法であって、

前記シード光が前記ArFエキシマレーザに注入される際には、そのビーム断面において位相が相違する第1の構成、

前記シード光が第1のネオジウム添加固体レーザの0.9μm帯基本波の第4高調波と、第2のネオジウム添加固体レーザの1.0μm帯基本波との和周波である第2の構成、の何れかの構成であることを特徴とする半導体装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、半導体製造装置および半導体装置の製造技術に関し、特に、フォトリソグラフィの光源である露光光源に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 フォトリソグラフィ工程に用いられる露光装置あるいはステッパーに要求される性能としては、解像度、アライメント精度、処理能力、装置信頼性など種々のものが存在する。その中でも、パターンの微細化に直接つながる解像度Rは、 $R = k \cdot \lambda / NA$ （ここで、kは定数、λは露光波長、NAは投影レンズの開口数を表す。）によって表される。したがって良好な解像度を得るために、露光波長λという光学パラメータが重要なファクターになる。

【0003】 一般的露光装置では、水銀ランプのI線（波長：365nm）や、波長248nmのKrFエキシマレーザ発振器が露光光源として利用されている。なおKrFエキシマレーザ発振器が光源として利用される露光装置を、以下、KrF露光機と呼ぶ。

【0004】 次世代のフォトリソグラフィ技術として、さらに微細な加工を行うための露光装置では、波長193nmのArFエキシマレーザ発振器を光源に用いた露光装置が検討されている。なお、このような露光装置は一般にArF露光機と呼ばれるが、本明細書では、波長193nmの紫外光を露光光とする露光装置をArF露光機と呼ぶ。

【0005】 ArF露光機には、ArFエキシマレーザ自体を発振器に用いるタイプの他に、固体レーザ等をベ

ースとした波長変換によって波長193nmの紫外光を発生させる光源（以下、波長変換による光源と呼ぶ。）を用いるタイプ、波長変換による光源をそのまま露光光源としては用いずに、ArFエキシマレーザと併用した注入同期方式を利用するタイプが知られている。

【0006】波長変換による光源の代表的な構成としては、たとえば、レーザー学会研究会報告、RTM-98-36、p29～p34、に記載されている構成がある。まず、波長1064nmで発振するNd:YAGレーザ（組成式がNd:Y3Al5O12で表される結晶にネオジウムが添加された固体レーザのことである。）のレーザ光を3回の波長変換によって波長213nmの第5高調波を発生させる。さらにこの第5高調波と、Nd:YAGレーザの基本波（すなわち波長1064nmのレーザ光）をOPO（Optical Parametric Oscillationと呼ばれる波長変換の一種であり、おもに入射光より長い波長のレーザ光を発生させる手法である。）によって長波長側に変換させた約2.1μmの赤外光とをCLB10結晶（以下、CLBOと示す。）等によって和周波数（以下、SFM: Sum Frequency Mixingと示す。）を発生させて波長193nmの紫外光を得るものである。

【0007】なお、波長変換による光源の他の例は、例えば、SPIE Vol. 3051, pp. 882-889、あるいはLaser Focus World January 1998, pp. 113-118に記載されている。また、OPOに関しては、例えば、レーザー研究、第21巻、第2号、第295～304頁に記載されている。また、CLBOに関しては、例えば、レーザー研究、第26巻、第3号、第215～219頁、1998年に記載されている。

【0008】波長変換による光源をそのまま露光光源としては用いずに、ArFエキシマレーザと併用した注入同期方式を利用するタイプは、たとえば第59回応用物理学関係連合講演会、講演予稿集、第950頁、17-a-P2-1、1998年に記載されている。すなわち波長変換による光源からの波長193nmのレーザ光をシード光として、ArFエキシマレーザに注入するものである。

【0009】また、露光機の中にはスキャン型露光機が知られている。スキャン型露光機とは、回路パターンが描画されたレチクルと、ウエハーとを移動させながら露光する露光装置のことであり、レチクルの一部分を露光レンズによってパターン転写させながら、レチクルとウエハーとをスキャンすることで、レチクル全体をウエハーにパターン転写させるものである。スキャン型露光機に関しては、例えば、電子材料、1995年3月、第107頁から第111頁において説明されている。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】ArFエキシマレーザ自体を発振器に用いるタイプでは、ランニングコストが

高くなることが問題になる。ArFエキシマレーザ自体の発振では出力光の波長帯域が広いため、これをフォトリソグラフィに用いるには波長の狭帯域化と安定化が必要となる。しかし、狭い波長幅のレーザ光を発生させるために用いられる狭帯域化素子と波長安定化のためのモニターとが短期間で劣化する問題ある。狭帯域化素子や波長安定化モニターにはフッ化カルシウムなど高価な材質が使われる場合が多く、劣化によりこれを頻繁に交換するとランニングコストが高くなる。

【0011】なお、劣化が激しい理由は、レーザ光の波長は193nmであり真空紫外域に属するため、一般に多くの光学材料では吸収率が高くなる。そのためフッ化カルシウムなど真空紫外域に透過率のある材料を用いても、これが193nmのレーザ光に照射されるとパワー密度の大きいレーザ光を吸収して次第に組成変化を生じ、大きなダメージを受けるに至るからである。

【0012】そこでArFエキシマレーザ発振器の代わりに、波長変換による光源が検討される。この波長変換による光源では、波長変換する前の長い波長のレーザ光を狭帯域化させ、さらに波長安定化させることができるために、狭帯域化素子や波長安定化モニターに劣化が生じにくくなる。このことから、ランニングコストの低減が期待できる。

【0013】しかし、波長変換による光源では、以下に説明するように2つの主な問題が存在する。すなわち、スペックルノイズの発生と出力の小さい点である。スペックルは、レーザ光の観察面に現れる斑点状の模様で、フォトリソグラフィに用いる場合には、照射密度のムラとして問題を生じる。

【0014】波長変換による光源に、スペックルノイズが発生しやすい理由は、波長変換による光源では通常のエキシマレーザ発振器とは異なり、波長変換の効率を高めるためにビーム拡がり角の小さいシングルモードのビームを用いる必要がある。ところが、シングルモードのビームの可干渉性は高く、可干渉性の高いレーザではスペックルが生じやすいため、スペックルノイズが発生しやすくなる。

【0015】なお、波長変換による光源だけでなく、エキシマレーザ発振器に用いる場合でも、スペックルノイズを抑制する方策が必要な場合がある。この抑制のために、ウエハーに照射されるパターンを何パルスも重ね合わせて（すなわちパルスを重畳させて）平均化させる手法がある。しかし、多くのパルス数を重畳させる必要が生じると、重畳分だけスループットが低下し、特にスキャン型露光機においてはスキャンスピードを高くできないことから、露光機としてのスループットが低くなることが問題になる。

【0016】波長変換による光源の第2の問題は、レーザ出力が0.2W程度（基本波の出力の1～2%）しか得られておらず、露光光源として必要な5W以上の高出

力化が困難なことである。

【0017】そのおもな理由としては、前記したとおり、従来の波長変換による光源構成では、最終的に波長193nmを発生させるまでに波長変換を5回も行う必要がある。波長変換を行うごとにレーザ出力が半減以下に減少することから、数十WクラスのNd:YAGレーザを用いても、波長193nmの紫外光の出力が1W未満になってしまふ。さらにまた、OPOによって発生した赤外光の波長幅が広すぎて、SFMを行う際の効率が低くなることも低出力の原因として挙げられる。すなわちOPOでは、ある程度任意な波長のレーザ光に変換できるが、その反面、波長幅が数nm以上と広くなったり、中心波長が大きく変動することがある。

【0018】以上述べたとおり、波長変換による光源によって波長193nmのレーザ光を出力5Wの条件で得るには、Nd:YAGレーザを用いたと仮定してその出力が200~300Wのものが必要になる。このような100Wを越える基本波をシングルモードで発振させることは現状では困難である。また、波長変換を行うには基本波を非線形光学結晶に入射させる必要があるが、100Wを越える高出力のレーザ光を非線形光学結晶に入射させることは、非線形光学結晶中の発熱等を生じ問題である。以上より、波長変換による光源では、高出力化が課題である。

【0019】本発明の目的は、波長変換による光源において、スペックルノイズを抑制できる露光光源を提供することにある。

【0020】また、本発明の目的は、高出力化が容易な波長変換による光源を利用した低ランニングコストの露光光源を提供することにある。

【0021】また、本発明の目的は、露光光源の低コスト化による半導体装置の製造コストを低減することにある。

【0022】本発明の前記ならびにその他の目的と新規な特徴は、本明細書の記述および添付図面から明らかになるであろう。

【0023】

【課題を解決するための手段】本願において開示される発明のうち、代表的なものの概要を簡単に説明すれば、次のとおりである。

【0024】(1) 本発明の半導体製造装置は、波長変換を用いたレーザ光発生手段と、レーザ光発生手段で生じた光をシード光とする注入同期型のArFエキシマレーザとを有する半導体製造装置であって、レーザ光発生手段とArFエキシマレーザとの間の光路に透光性部材が配置され、透光性部材内のシード光は、そのビーム面内において通過距離が相違するものである。

【0025】また、本発明の半導体製造装置は、波長変換を用いたレーザ光発生手段と、レーザ光発生手段で生じた光をシード光とする注入同期型のArFエキシマレ

ーザとを有する半導体製造装置であって、レーザ光発生手段とArFエキシマレーザとの間の光路に透光性部材が配置され、シード光の透光性部材出射端面における位相が、シード光のビーム面内において相違するものである。

【0026】これらのような半導体製造装置によれば、透光性部材の内部の通過距離がビーム断面内の位置によって変化し、これを出射したレーザ光の位相が均一でなくなることから、または、透光性部材出射端面におけるビーム断面内の位相が均一でなくなることから、可干渉性が低くなる。可干渉性が低くなればスペックルノイズを低減することができる。

【0027】また、透光性部材に入射させるビームはシード光であるため、透光性部材における入出射端での反射損失があっても、その後にArFエキシマレーザを通してパワーが増幅されるため、十分なパワーの露光光を得ることができる。

【0028】しかも透光性部材に入射させるビームはシード光であるため、エネルギー的には十分小さくできることから前記透光性部材がダメージを受けて劣化することも抑制される。

【0029】なお、前記半導体製造装置において透光性部材は、光路方向における寸法が相違する複数の透光性部材片が1次元または2次元に配列されたものとができる、あるいは、光路方向における寸法が相違する透光性部材片が円周状に配置されたものであり、透光性部材が円周の中心を軸として回転可能なものとすることができる。透光性部材をこのような構成とすることにより、ビーム面内の透光性部材の通過距離を相違させ、また、透光性部材出射端面の位相を相違させ、可干渉性を低減してスペックルノイズを抑制できる。

【0030】(2) 本発明の半導体製造装置は、波長変換を用いたレーザ光発生手段と、レーザ光発生手段で生じた光をシード光とする注入同期型のArFエキシマレーザとを有する半導体製造装置であって、シード光が複数のビームからなるものである。

【0031】シード光を複数のビームで構成するならば、この複数のビームにおいて、特別に同期させない限り、互いに位相が異なるようになり、可干渉性の低い露光光を得ることができる。しかも複数のビームをArFエキシマレーザを通して前に平行な1本のビームにする必要があるが、その際の結合においてレーザパワーに多少の損失が生じても、これをそのまま露光に用いるのではなく、シード光として用いることから、ArFエキシマレーザから取り出されるレーザ出力をほとんど低下させないようにできる。シード光パワーによるArFエキシマレーザ出力の変化を示すグラフを図11に示す。同図に示すように、注入同期型のArFエキシマレーザでは、シード光のパワーがある程度以上あれば、ArFエキシマレーザから得られるレーザ出力はほとんど変わら

ない特性がある。

【0032】なお、上記(1)、(2)の半導体製造装置において、シード光が矩形断面形状を有し、ArFエキシマレーザの共振器を複数枚の平面鏡で構成することができる。このような場合、ArFエキシマレーザ内のガス流を矩形断面の短辺方向に流し、放電領域からのガス交換の効率を高めて、レーザ発振の繰り返し数を高めることができる。

【0033】(3) また、本発明の半導体製造装置は、レーザ光発生手段と、レーザ光発生手段で生じた光をシード光とする注入同期型のArFエキシマレーザとを有する半導体製造装置であって、レーザ光発生手段は、第1および第2のネオジウム添加固体レーザを有し、シード光は、第1のネオジウム添加固体レーザの0.9μm帯基本波の第4高調波と、第2のネオジウム添加固体レーザの1.0μm帯基本波との和周波とするものである。

【0034】なお、前記半導体製造装置において、第1のネオジウム添加固体レーザは、Nd:YAGレーザであり、第2のネオジウム添加固体レーザは、Nd:YAGレーザ、Nd:GSGGレーザ、Nd:LMAレーザまたはNd:CaWO4レーザから選択された何れかのレーザとすることができます。

【0035】ネオジウム添加固体レーザとして例えばNd:YAGレーザを用いるならば、波長0.9μm帯の発振線の波長は946nmであり、また波長1.0μm帯の発振線の波長は1064nmであることから、946nmのレーザ光を2回波長変換して発生させた第4高調波である波長236.5nmと、波長1064nmとのSFMは193.5nmになる。したがってこれはArFエキシマレーザのシード光として利用できる。しかも波長変換の回数は合計3回で済み、さらにSFMを行う際に用いられる長波長側の赤外光は、OPDではなく、固体レーザから発振したレーザ光を直接用いるものである。したがって波長幅は広くならないためSFMの効率が低くなることはなく、しかも波長が変動することもない。

【0036】(4) 本発明の半導体装置の製造方法は、0.19μm帯に感度を有するフォトレジスト膜を形成する工程と、フォトレジスト膜を、波長変換を用いて生成したレーザ光をシード光とする注入同期型のArFエキシマレーザ光で露光する工程とを有する半導体装置の製造方法であって、シード光がArFエキシマレーザに注入される際には、そのビーム断面において位相が相違する第1の構成、シード光が第1のネオジウム添加固体レーザの0.9μm帯基本波の第4高調波と、第2のネオジウム添加固体レーザの1.0μm帯基本波との和周波である第2の構成、の何れかの構成を有するものである。

【0037】なお、前記波長0.9μm帯の発振線と

は、分光学的に示すと、 $4\text{ F}_{3/2}$ から $4\text{ I}_{9/2}$ の遷移に基づくレーザ光のことであり、また前記波長1.0μm帯の発振線とは、 $4\text{ F}_{3/2}$ から $4\text{ I}_{11/2}$ の遷移に基づくレーザ光のことである。

【0038】また、Nd:GSGGレーザとは、組成式がNd:Gd₃Sc₂Ga₃O₁₂で表される固体レーザのことである。

【0039】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、実施の形態を説明するための全図において、同一の機能を有する部材には同一の符号を付し、その繰り返しの説明は省略する。

【0040】(実施の形態1) 図1は、本発明の半導体製造装置の一実施の形態である露光機の一例を示す構成図である。本実施の形態の露光機には露光光源1が含まれ、露光光源1にはシード光発振器3とArFエキシマレーザ4とシード光をArFエキシマレーザ4の導く光学系が含まれる。

【0041】シード光発振器3は、たとえばNd:YAGレーザの基本波を波長変換して193nmの紫外光をシード光として発生するレーザ発振器である。シード光は、Nd添加の固体レーザを用いるため、十分に狭帯域化されており、中心波長の安定性にも優れている。

【0042】シード光発振器3から取り出された波長193nmのレーザ光(以下、シード光と呼ぶ。) L1は、2枚のシリンドリカルレンズ5a、5bとで構成されたビーム幅拡大器5を通ることで、断面が上下方向に引き延ばされたシード光L2となり、ミラー6a、6bで反射してシード光L3となり、透過性部材7に入射する。

【0043】透過性部材7は、図1に示されたように、階段状の形状をしており、ここに入射するシード光L3は、透過性部材7の左側の面に垂直に入射する。一方、透過性部材7においてシード光L4が射出する面は階段状の面になっているため、その階段の各段の面に対しても垂直に射出する。したがって射出するシード光L4は屈折することなく、シード光L3と平行である。ただし透過性部材7の内部を進む距離は、ビーム断面内の位置で異なるため、射出したシード光L4の位相は、階段の各段ごとに異なるようになる。したがってシード光L4は、そのビーム断面内で位相にばらつきが生じ、可干渉性が低くなる。特に本実施の形態では、図に示すX方向に可干渉性が低くなる。

【0044】厳密には、透過性部材7中での通過距離がビーム断面内で異なるだけでは位相差が生じる原因にはならず、透過性部材7が配置されている空気の屈折率と、透過性部材7の屈折率とが異なる場合に、位相差が生じることになる。ただし現実には、透過性部材7として通常の光学材を用いるならば、屈折率は1.4から1.7であり、空気の1.0と大きく異なるため、位相

差が生じる。

【0045】透過性部材7は波長193nmの光に対して高い透過率を有し、前記屈折率の条件を満たすものであればよい。たとえばフッ化カルシウム(CaF)、フッ化リチウム(LiF)等のイオン性結合が支配的な結晶、合成石英ガラス、酸化アルミニウム結晶(サファイア)等を用いることができる。

【0046】シード光L4は、ArFエキシマレーザ4に注入され、ここでパワーが強められたレーザ光L5が取り出される。レーザ光L5は露光機本体2に入射し、露光に使われる。なお、レーザ光L5のパワーに関しては、一般にシード光L4のパワーがある程度以上であれば、シード光L4のパワーには寄らずに、一定のパワーが得られる。

【0047】以上のように本実施の形態の露光光源1では、露光光として取り出されるレーザ光L5の可干渉性が低くなっているため、露光機本体2において露光に利用される際に、スペックルノイズが小さくなる効果がある。

【0048】また、透過性部材7における、特に階段状の出射端面には反射防止膜を施すことが困難になるため、反射損失が生じて、シード光L4のパワーがシード光L3よりも低くなることがある。ところが本発明では、透過性部材7を出射したシード光L4をArFエキシマレーザ4に通すため、パワーが増幅されることから、露光機本体2で利用されるレーザ光L5としては十分なパワーが得られる。

【0049】また、パワーの小さいシード光L3に対して可干渉性を下げることによりパワーの大きなレーザ光L5の可干渉性を低下させることができが本実施の形態の露光光源1の大きな特徴である。すなわち、可干渉性を低下させる作用を行う透過性部材7は、パワーの小さいシード光L3の段階で取り扱うため、透過性部材7がシード光の照射により短期間で劣化することはない。これにより露光光源1の寿命を伸ばすことができる。

【0050】なお、本実施の形態のように、シード光発振器3から取り出されたシード光L1をビーム幅拡大器5によって矩形断面のビームに拡げる理由としては、透過性部材7に入射する際に、その階段状の部分の多数の段にビームが通過させるためである。ただしそれだけではなく、シード光L4をArFエキシマレーザ4に注入する際に、ArFエキシマレーザ4内の放電領域(ただし図示せず。)の断面形状を細長くできるからである。これによってレーザ光のパルス繰り返し数を高くしても、ArFエキシマレーザ4においてレーザ光の各パルスを安定に放電できる。すなわちパルス繰り返し数を高めるならば、放電領域を通過させるレーザガスの流速を高める必要が生じるが、その場合に、放電領域の断面形状が細長い程、その流速を高くせずに済むからである。

【0051】次に、本実施の形態の露光光源におけるArFエキシマレーザ4の共振器構成を図2及び図3を用いて説明する。図2は、発明者が検討した比較例を示す共振器構成の上面図であり、図3は本実施の形態の共振器構成を示す斜視概念図である。

【0052】図2に示す比較例の共振器構成は、一般的に用いられる注入同期型のエキシマレーザの共振器である。同図に示したように、シード光L8は、共振器を構成する穴付凹面鏡8と凸面鏡9とで構成されており、その間に放電管10が配置される。放電管10の両側にはウインド11a, 11bが取り付けられている。シード光L8は穴付凹面鏡8から共振器中に注入され、放電管10を一回通過後、凸面鏡9に当たって反射し、再び放電管10内を通過してから穴付凹面鏡8に当たり、再度放電管10を通過して、凸面鏡9の周囲からレーザ光L9として出射する。すなわちシード光L8は放電管10内を片道3回進むことで増幅される。

【0053】一方、本実施の形態のArFエキシマレーザ4は露光光源として利用されるため、特に繰り返し数が1kHz以上と高くなる。その結果、放電管内の放電領域として、放電方向と直交するレーザガスの流れる方向には狭い幅である方が有利になる。その理由としては、放電電極間を通過するレーザガスは、パルス間隔の間に放電領域から流れ去る必要があるため、繰り返し数が高くなると、パルス間隔が短くなるからである。

【0054】ところが図2に示したような比較例の注入同期型エキシマレーザの共振器では、放電管内を往復する間に、シード光が広がっていき、直径の大きな円形ビーム(レーザ光L9)になっていくことから、これを効率よく増幅させるには、放電領域の断面形状における幅を、少なくともレーザ光L9の直径以上にとる必要が生じる。したがって高い繰り返し数で動作させる困難性が高くなる。

【0055】そこで本実施の形態のArFエキシマレーザ4では、放電管(ただし図示せず。)を挟む共振器としては、図3に示したように、2枚の平面鏡12a, 12bが向かい合ったもので構成されている。これによって、放電管中に注入されるシード光L4を、図3でY方向に狭い矩形断面にしたままで、放電領域を片道3回通過させることができるために、高い繰り返し数で動作させることができ容易になる。

【0056】なお以上のように、本発明で用いられるArFエキシマレーザの共振器構成としては、図3に示したような2枚の平面鏡12a, 12bの組み合わせ以外にも、放電領域の幅が狭くなるような共振器であれば、いかなる形態の共振器でも適用可能である。

【0057】また、上記説明では、一对の平面鏡12a, 12bの組み合わせによる一往復の共振構成を示したが、さらに多数枚の平面鏡を組み合わせて多数往復させるような共振構成を探ることも可能である。

【0058】次に、本実施の形態に採用できる露光機本

体2の構成にを図4に示す。図4は、本実施の形態の半導体製造装置に適用できるスキャン型露光機を示す斜視図である。本実施の形態のスキャン型露光機は、照明系41、レチクルスキャンステージ42、投影レンズ44、ウエハスキャンステージ45を有し、レチクル43はレチクルスキャンステージ42に保持され、ウエハ46はウエハスキャンステージ45に保持される。露光光源1で生成されたレーザ光L5は、照明系41に入射され、ミラー47で光軸を変えて光学系48に入射される。光学系48を出射したレーザ光は図示する照明エリアに照射され、レチクル43を通過して、投影レンズ44を介しウエハ46に照射される。このスキャン型露光機は、図示するY方向にレチクル43とウエハ46が往復移動をする。これによってY方向に関してはパルスの重畳によって、スペックルノイズの低減化が図られる。一方、X方向に関しては、図1に示したように、可干渉性が低くなっている。したがってX方向とY方向の両方向に関してスペックルノイズが低減される。

【0059】(実施の形態2)図5は、実施の形態2で用いられる透過性部材の他の例を示した斜視図である。図5に示された透過性部材20は、図1に示された透過性部材7の機能をより発展させたものである。すなわち図5に示されたように、2次元状に凹凸になっているため、ここを通過するレーザ光の断面内の位相を2次元的にばらばらにすることが可能である。なお、透過性部材30を形成するには、互いに長さの異なる多数の細い角柱状のフッ化カルシウム棒を束ねればよい。

【0060】なお透過性部材20のように、2次元状に位相をばらばらにする場合、透過性部材20をコンパクトに構成することが比較的難しくなることから、ビーム断面を拡げて透過性部材20に入射させ、透過性部材20を出射後、ビーム断面積を元に縮小して、ArFエキシマレーザに入射させてもよい。

【0061】また、特に透過性部材20を用いた露光光源を、実施の形態1に前述したようなスキャン型露光機に用いるならば、スキャン方向(Y方向)にも可干渉性を低くできる。その結果、スペックルノイズをキャンセルするために重ね合わせるパルス数を減らすことができるため、スキャン速度を高めることができ、露光機としてのスループットを高くできる。

【0062】(実施の形態3)図6は、実施の形態3で用いられる透過性部材の他の例を示した斜視図である。図6に示された透過性部材30は、図6に示されたように、多数の細長い透光性の三角板が均等に張り付けられた円盤になっており、回転軸31を中心に回転可能なものとなっている。すなわちこの三角板30aが張り付けられた部分は、厚みが増えるため、それ以外の部分30bと比較して、入射するレーザ光L3の通過距離が異なるようになっている。その結果、図6のように、透過性部材30から出射したレーザ光L4においては、ビーム

断面内で位相がばらばらになる。

【0063】しかも、透過性部材30では、図6の矢印のように回転軸31の周りに高速で回転するため、位相が乱される場所が常に変化する。したがってレーザ光の1パルスの間に位相を変化させることが可能となり、1パルスでのスペックルノイズの抑制効果が大きい。

【0064】(実施の形態4)図7は、実施の形態4のシード光発生手法を示した概念図であり、図8は、実施の形態4のシード光発生手段を示した構成図である。

【0065】本実施の形態のシード光発生手法は、まず、第1のネオジウム添加固体レーザであるNd:YAGレーザにおける $^4F_{3/2}$ から $^4I_{9/2}$ の遷移に基づく波長946nmのレーザ光を、BBO(正確には β -B₂O₄と示される結晶。)等を用いて波長473nmである第2高調波を発生させる。ただしBBOの代わりに、LBO(正確にはLiB₃O₅と示される結晶。)、あるいはCLBOを用いることもできる。

【0066】次に、波長473nmである第2高調波を、さらにBBO結晶に通すことで、波長473nmの第2高調波、すなわち波長236.5nmである第4高調波を発生させる。

【0067】次に、第2のネオジウム添加固体レーザであるNd:YAGレーザを用いる場合は、波長236.5nmである第4高調波と、Nd:YAGレーザにおける $^4F_{3/2}$ から $^4I_{11/2}$ の遷移に基づく波長1064nmのレーザ光と、CLBOに通すことで、それらの和周波数を発生させる。これが波長193.5nmとなるため、ArFエキシマレーザへのシード光として利用できる。

【0068】以上のように、本実施の形態の露光光源では、波長変換を3回でシード光を発生しているのが特徴であり、従来技術で説明した場合と比較して波長変換の回数が2回少なく、その結果、高出力化を容易にできる。すなわち、波長変換を繰り返すに従い、出力光のエネルギーは低下するが、本実施の形態では波長変換回数が少ないため、出力光の減衰が少なく、高出力化を図れる。

【0069】しかも本実施の形態ではOPPOを利用しないことも特徴である。OPPOを使用しないため、SFMの効率が高く、高出力なシード光が得られやすく、さらに波長が変動することもない。

【0070】なお、図7では、第2のネオジウム添加固体レーザとしてNd:YAGレーザが用いられているが、Nd:GSGGレーザを用いてもよい。その場合、 $^4F_{3/2}$ から $^4I_{11/2}$ の遷移によって波長1061nmのレーザ光が発振することから、これと波長236.5nmとのSFMによって波長193.4nmの紫外光が発生する。これもArFエキシマレーザへのシード光として利用できる。

【0071】また、ネオジウム添加固体レーザとしてN

$d : \text{LMA}$ (組成式は LaMgAl_11O で示される。) レーザを用いると、 $^4\text{F}_{3/2}$ から $^4\text{I}_{11/2}$ の遷移によって波長 1053 nm でレーザ発振するため、これとの S FM によって波長 193.1 nm の紫外光が発生し、これも ArF エキシマレーザへのシード光として利用できる。

【0072】さらに、 Nd : CaWO_4 レーザも $^4\text{F}_{3/2}$ から $^4\text{I}_{11/2}$ の遷移によって波長 1065 nm 、あるいは 1058 nm でレーザ発振するため、これとの S FM によって波長 193 nm 付近の紫外光が発生し、これをシード光として利用できる。

【0073】このように、第2のネオジウム添加固体レーザには種々のものがあり、それらによって波長 $1.0\mu\text{m}$ 帯の発振波長が微妙に異なることから、最終的に S FM で得る紫外光の波長を微調整することができる。したがって ArF エキシマレーザにおいて特に高い効率が得られる波長を選ぶことができる。

【0074】次に本実施の形態の波長変換による光源の構成の具体例を、図8を用いて説明する。本実施の形態のシード光発生手段は、実施の形態1の露光光源1のシード光発振器3に適用できる。以下実施の形態1のシード光発振器3に適用した場合を説明する。

【0075】シード光発振器3では、ネオジウム添加固体レーザとして Nd : YAG レーザ101が用いられている。すなわち Nd : YAG 結晶102の両側に配置された全反射鏡103と出力鏡104とで共振器が構成されている。ここでは Nd : YAG 結晶102の励起は半導体レーザ (ただし図示せず。) で行われている。これによって Nd : YAG レーザ101からレーザ光L10が取り出される。ただし Nd : YAG レーザ101では、共振器中にQスイッチ105が配置されており、これによって、レーザ光L10は、 1 kHz の繰り返し動作になっている。

【0076】なお、 Nd : YAG レーザ101では、特に $0.9\mu\text{m}$ 帯の 946 nm で強くレーザ発振できるように、全反射鏡103においては、波長 946 nm でほぼ 100% の反射率を有するようになっており、また、出力鏡104においては波長 946 nm において 90% 以上の反射率を有するようになっている。さらにまた、 Nd : YAG 結晶102がマイナス 30 度に冷却されており、これによって波長 946 nm でのゲインが高くなるようになっている。なお、 Nd : YAG レーザから波長 946 nm のレーザ光を発振することに関しては、例えば、Applied Physics Letters, Volume 15, Number 4, pp. 111-112, 1969に記載されている。

【0077】ただし、 Nd : YAG レーザ101から取り出されるレーザ光L10には、波長 946 nm の他に、通常の波長 1064 nm のレーザ光も混じっている。そこでレーザ光L10は、先ずダイクロイックミラー106aに当たり、波長 946 nm のレーザ光は反射

してレーザ光L11のように進み、波長 1064 nm のレーザ光は透過してレーザ光L12のように進む。

【0078】波長 946 nm のレーザ光L11は、レンズ108aを通って非線形光学結晶109aに集光する。これによってその第2高調波である波長 473 nm のレーザ光L13が発生する。なお非線形光学結晶109aとしては例えればLBO、BBO、あるいはCLBOが適する。

【0079】ただしレーザ光L13には未変換の波長 946 nm のレーザ光 (以下、残留基本波と呼ぶ。) も含まれている。そこでレーザ光L13は、レンズ108bを通って平行ビームに戻り、ダイクロイックミラー106bに当る。残留基本波はここで反射してレーザ光L14のように進み、吸収板110で止められる。

【0080】ダイクロイックミラー106bを透過した波長 473 nm のレーザ光L13は、レンズ108cを通って非線形光学結晶109bに集光する。これによってその第2高調波である波長 236.5 nm のレーザ光L15が発生する。なお非線形光学結晶109bとしてはBBOが適する。レーザ光L15はレンズ108dを通って平行ビームに戻り、ダイクロイックミラー106cに入射する。

【0081】一方、 Nd : YAG レーザ101から取り出された波長 1064 nm のレーザ光L12は、ミラー107a、107bで反射して、ダイクロイックミラー106cに入射する。

【0082】ダイクロイックミラー106cは、波長 236.5 nm の紫外光において 99% 以上の高い透過率を有し、また波長 1064 nm の赤外光においては 99% 以上の高い反射率を有する特性になっている。その結果、ダイクロイックミラー106cにおいて、波長 236.5 nm のレーザ光L15と波長 1064 nm のレーザ光L12とが合成され、レーザ光L16のように進む。

【0083】レーザ光L16は、レンズ108eを通って非線形光学結晶109cに集光する。ここでは波長 236.5 nm のレーザ光と波長 1064 nm のレーザ光との S FM が行われる。これによって波長 193.5 nm のレーザ光L17が発生する。非線形光学結晶109cとしてはCLBOが適する。レーザ光L17はレンズ108fを通って平行ビームに戻る。このレーザ光L17がシード光として利用される。

【0084】なお、本実施の形態では、前述したように、 Nd : YAG レーザ101が 1 kHz の繰り返し動作を行っているため、レーザ光L17は 1 kHz で動作する。これは図1に示された ArF エキシマレーザ4の繰り返し数と同じであり、同期するようになっている。

【0085】以上のように本実施の形態のシード光発振器3では、3個の非線形光学結晶による3回の波長変換で波長 193 nm の紫外光を発生できる特徴があり、こ

れによってシード光の高出力化が容易になるだけでなく、ダメージ等で非線形光学結晶を交換する頻度を減らすことができるため、ランニングコストを低減できる。

【0086】また、特に本実施の形態では、波長0.9 μm 帯のレーザ光を発振させるネオジウム添加固体レーザと、波長1.0 μm 帯のレーザ光を発振させるネオジウム添加固体レーザに、同一のNd:YAGレーザ101を用いていることも特徴であり、これによって2つのレーザ光を同時に発振させることができて容易である。これに対して、第1と第2のネオジウム添加固体レーザをが異なる場合は、それらの同期をとる必要がある。

【0087】なお、波長1.0 μm 帯のレーザ光を発振させるネオジウム添加固体レーザに他の発振器を用いることができること、このような他の発振器により1.0 μm 帯の波長を微調整して出力波長を調整できることは、前記した通りである。

【0088】(実施の形態5) 図9は、実施の形態5の露光光源で用いられるシード光発振器を示す構成図である。本実施の形態のシード光発振器は、多モードのシード光を発生する多モードシード光発振器200である。

【0089】多モードシード光発振器200では、実施の形態4の図8に示したシード光発振器3と同様の発振器が4台用いられており、図9では、それぞれをシード光発振器201a, 201b, 201c, 201dで示される。シード光発振器201a, 201b, 201c, 201dから取り出された波長193nmのシード光L81a, L81b, L81c, L81dは、それぞれ三角ミラー202a, 202b, 202c, 202dに入射する。これらを出射したシード光L81a, L81b, L81c, L81dは、図でL81a', L81b', L81c', L81d'のようにほぼ密着するようになるため、あたかも1つのビームになり、これがArF増幅器に注入される。

【0090】本実施の形態では、シード光L82が、互いに位相がばらばらの4つのシード光から成るため、これらが合成されたシード光は、可干渉性が低くなる。したがってArFエキシマレーザに通過させると可干渉性が低いレーザ光が取り出される。

【0091】また、図9に示した4つのシード光L81a, L81b, L81c, L81dを三角ミラー202a, 202b, 202c, 202dで1本化する際に、各シード光L81a, L81b, L81c, L81dに多少損失が生じる。すなわち1本化されたシード光L82はパワーが多少低下するが、これがそのまま露光に使われることはなく、ArFエキシマレーザに注入されるため、露光光のパワーが低くなることはない。すなわち、図11に示すように、注入同期型のArFエキシマレーザでは、シード光のパワーがある程度以上あれば、ArFエキシマレーザから得られるレーザ出力はほとんど変わらない特性があるからである。

【0092】しかも4本のビームが当たる三角ミラー202a, 202b, 202c, 202dには、低パワーのシード光L81a, L81b, L81c, L81dが当たることから、これらの三角ミラー202a, 202b, 202c, 202dでは、劣化しにくいことも本発明の特徴である。

【0093】なお、この場合、実施の形態1～3の透光性部材は必要でないが、さらに可干渉性を低減するため透光性部材を通過させてもよい。

【0094】(実施の形態6) 図10は、本発明の一実施の形態である半導体装置の製造方法を工程順に示した断面図である。

【0095】本実施の形態の製造方法は、実施の形態1～5の露光光源を用いて行う。以下、実施の形態1の図1に示した露光機2(たとえば図8に示す露光機)を用いて半導体装置を製造する場合について説明する。

【0096】図10では、フォトリソグラフィによる加工を施す工程の一例として、シリコン基板1001の表面に堆積(デポジション)された二酸化珪素(SiO₂)の膜1002に微少な穴(コンタクトホール)を空ける場合を例示している。

【0097】フォトリソグラフィ加工では、先ず始めに(1)に示したように、シリコン基板1001の上に堆積されたSiO₂膜1002にレジスト1003が塗布される。次に(2)に示したように露光光(多数の矢印で示したもの)を基板1001の表面のレジスト1003に照射することによって露光処理が行われる。すなわちレチクルを経由することによって光軸に垂直な平面内における照射分布が所定のパターンとなった露光光がレジスト1003に照射される。ここでは直径 ΔW の穴に相当する領域には露光光は照射されない。

【0098】なお本実施の形態では、レジスト1003はネガレジストと呼ばれるものであり、露光後に現像すると、(3)に示したように露光光が照射されなかった直径 ΔW の穴のところのみが現像液に溶けて除去され、開口1003aが形成される。

【0099】そこで(4)に示したように、エッチングを施すとレジスト1003の開口1003aから露出した薄膜1002がエッチングにより除去される。

【0100】最後に(5)に示したようにアッシングなどによりレジスト1003を除去することで、直径 ΔW のコンタクトホール1002aを有するSiO₂膜1002が基板1001上に残ることになる。

【0101】本実施の形態では、露光光の波長が193nmとなっているため、通常の露光によても、最小約0.19 μm の直径の穴(コンタクトホールなど)や、幅0.19 μm の線の加工を施すことができる。さらに本実施の形態の露光装置では照度を低下させずに、輪帯照明を構成できるため、露光波長の約60%の波長0.12 μm の直径の穴や線を高いスループットで加工する

ことができる。

【0102】なお、本実施の形態ではコンタクトホールを形成する場合について説明したが、SiO₂膜1002を多結晶シリコン膜に置き換え、MISFETのゲート電極をパターニングする場合にも適用できることは勿論である。この場合、ゲート電極の線幅およびスペースを前記寸法に匹敵する微細寸法で加工できる。また、SiO₂膜1002を金属膜に置き換え、DRAM (Dynamic Random Access Memory) の蓄積容量素子 (下部電極) のパターニングにも適用できる。その他、微細なパターニングが要求される部材の加工に適用できることは言うまでもない。

【0103】以上、本発明者によってなされた発明を発明の実施の形態に基づき具体的に説明したが、本発明は前記実施の形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲で種々変更可能であることは言うまでもない。

【0104】

【発明の効果】本願において開示される発明のうち、代表的なものによって得られる効果を簡単に説明すれば以下のとおりである。

【0105】すなわち、本発明の半導体製造装置では、上記露光光源を用い、上記露光光源が以上に述べた構成になっているため、露光光の位相がビーム断面内ではばらばらになっている。このことから、1パルスでもスペックルノイズが小さくなる。これによって特にスキャン型露光機に適用した場合、最小パルス数を減らすことができるため、スループットが高くなる。

【0106】また、本発明の半導体製造装置では、波長変換による光源を用い、この光源では波長変換回数が3回で済む。さらにOPOを利用しないことから、高出力なシード光を発生できる。また、波長の安定化を図ることができる。また、露光光源として注入同期を構成するならば、ArFエキシマレーザから得られる出力を十分高めることができる。

【0107】また、波長変換による光源の高出力化が容易になるため、シード光として利用するだけでなく、そのまま露光光源として用いることもできるようになり、その場合はArFエキシマレーザが不要になることから、ガス交換が不要になるなどの効果もある。

【0108】しかも、システムの信頼性も向上する。すなわち波長変換の回数が多いと、結晶をダメージなどによって交換するために装置を停止させる頻度が高くなるが、本発明では波長変換の回数が少なく、光学部品の交換頻度を下げて稼働率を向上できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態1の露光機の一例を示す構成図である。

【図2】本発明の発明者が検討した比較例を示す共振器構成の上面図である。

【図3】本発明の実施の形態1の共振器構成を示す斜視概念図である。

【図4】本発明の実施の形態1のスキャン型露光機を示す斜視図である。

【図5】本発明の実施の形態2で用いられる透過性部材の他の例を示した斜視図である。

【図6】本発明の実施の形態3で用いられる透過性部材の他の例を示した斜視図である。

【図7】本発明の実施の形態4のシード光発生手法を示した概念図である。

【図8】本発明の実施の形態4のシード光発生手段を示した構成図である。

【図9】本発明の実施の形態5の露光光源で用いられるシード光発振器を示す構成図である。

【図10】本発明の一実施の形態である半導体装置の製造方法を工程順に示した断面図である。

【図11】シード光パワーによるArFエキシマレーザ出力の変化を示すグラフである。

【符号の説明】

- 1 露光光源
- 2 露光機本体
- 3 シード光発振器
- 4 ArFエキシマレーザ
- 5 ビーム幅拡大器
- 6a, 6b ミラー
- 7, 20, 30 透過性部材
- 8 穴付凹面鏡
- 9 凸面鏡
- 10 放電管
- 11a, 11b ウィンド
- 12a, 12b 平面鏡
- 30a 三角板
- 30b 三角板以外の部分
- 31 回転軸
- 41 照明系
- 42 レチクルスキャンステージ
- 43 レチクル
- 44 投影レンズ
- 45 ウエハスキャンステージ
- 46 ウエハ
- 47 ミラー
- 48 光学系
- 101 Nd:YAGレーザ
- 102 Nd:YAG結晶
- 103 全反射鏡
- 104 出力鏡
- 105 Qスイッチ
- 106a, 106b, 106c ダイクロイックミラー
- 107a, 107b ミラー
- 108a, 108b, 108c, 108d, 108e,

108f レンズ

109a, 109b, 109c 非線形光学結晶

110 吸収板

200 多モードシード光発振器

201a, 201b, 201c, 201d シード光発振器

L1, L2, L3, L4, L8 シード光

L5, L9 波長193nmのレーザ光

L10 波長1064nmと946nmとが含まれたレーザ光

L11 波長946nmのレーザ光

L12, L12' 波長1064nmのレーザ光

L13 波長473nmのレーザ光（残留基本波を含む）

L13' 波長473nmのレーザ光

L14 波長946nmのレーザ光（残留基本波）

L15, L15' 波長236.5nmのレーザ光

L16 波長236.5nmと1064nmとが合成されたレーザ光

L17, L17' 波長193.5nmのレーザ光（シード光）

L81a, L81b, L81c, L81d, L81a', L81b', L81c', L81d', L82

シード光

1001 基板

1002 SiO₂膜

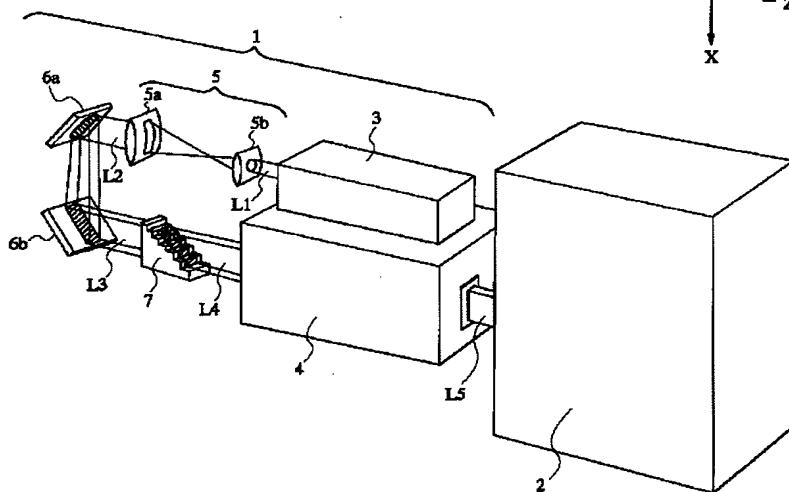
1002a コンタクトホール

1003 レジスト

1003a 開口

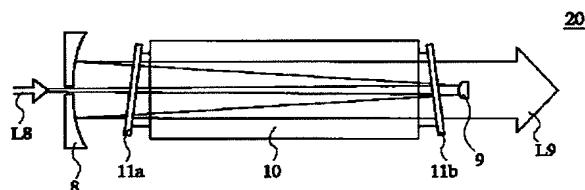
【図1】

図 1

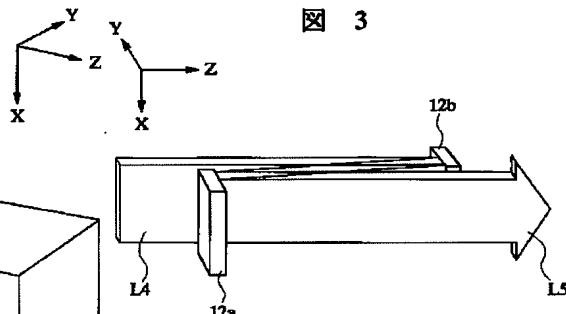


【図2】

図 2

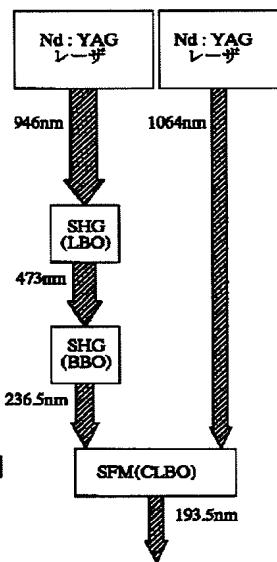


【図3】



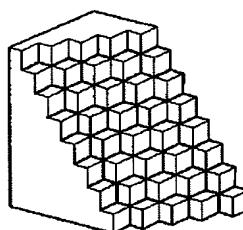
【図7】

図 7

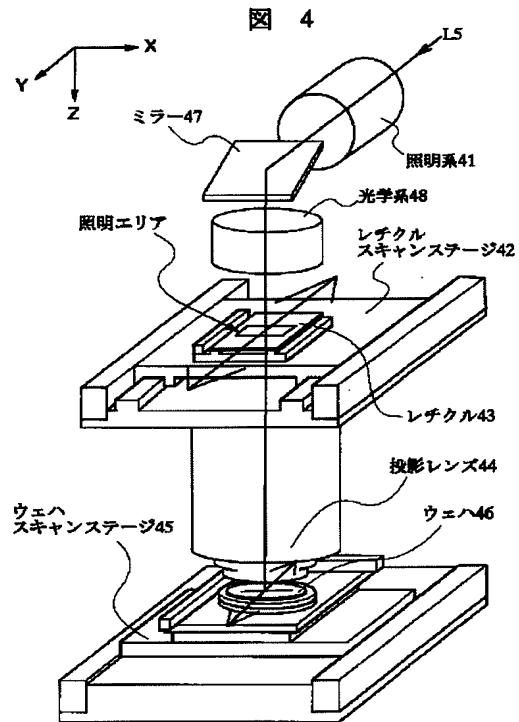


【図5】

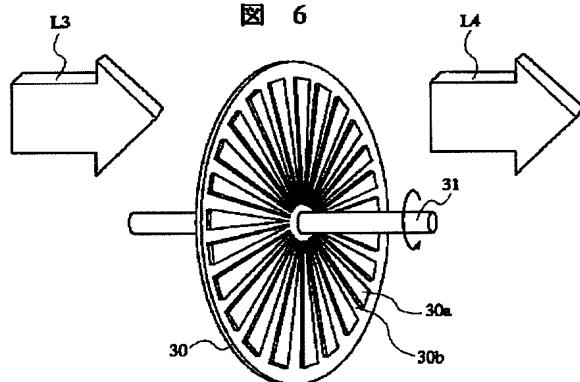
図 5



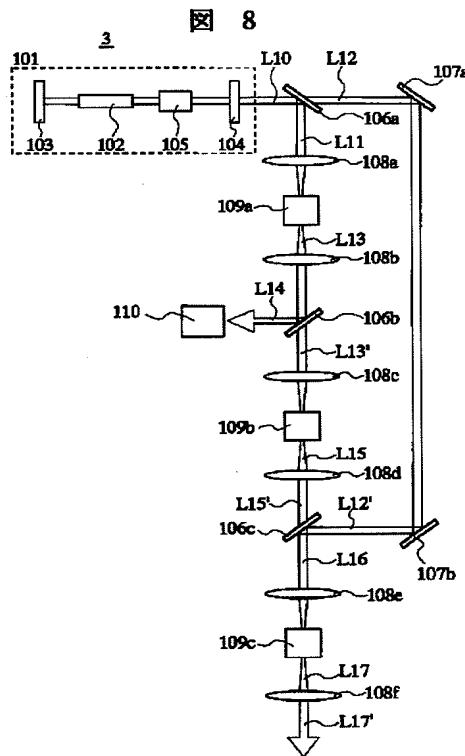
【図4】



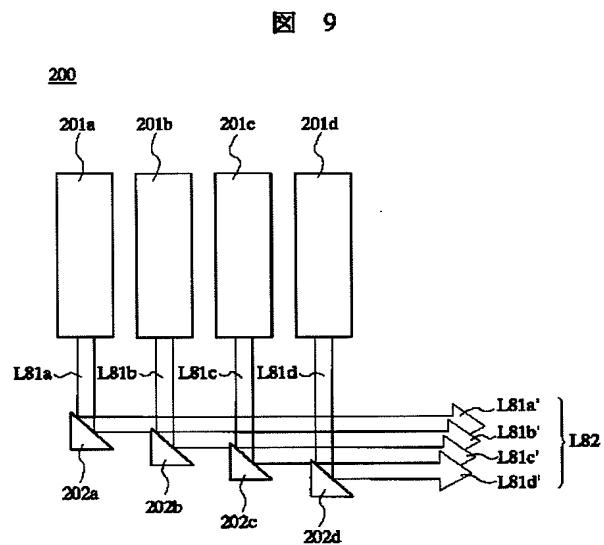
【図6】



【図8】

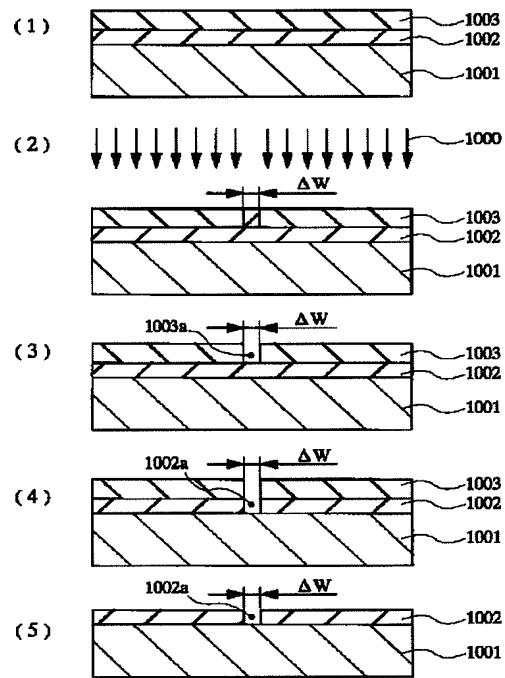


【図9】



【図10】

図 10



【図11】

図 11

